



### 2.4.3. Электроэнергетика

Научная статья

УДК 621.311

<https://doi.org/10.37493/2307-907X.2025.6.2>

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ МЕСТА РАСПОЛОЖЕНИЯ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ

Иван Сергеевич Екимов<sup>1\*</sup>, Владимир Иосифович Полищук<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Югорский государственный университет (д. 16, ул. Чехова, Ханты-Мансийск, ХМАО-Югра, 628012, Российская Федерация)  
<sup>1</sup> [ekimov\\_is@mail.ru](mailto:ekimov_is@mail.ru); <https://orcid.org/0009-0003-5312-1228>  
<sup>2</sup> [polishchuk\\_vi@mail.ru](mailto:polishchuk_vi@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0001-8100-4406>  
<sup>\*</sup> Автор, ответственный за переписку

**Аннотация. Введение.** В современных условиях при планировании развития электроэнергетического комплекса большое внимание уделяется вопросам его энергоэффективности и экономичности. Перед проектировщиками ставятся задачи определения наиболее оптимальных трасс прохождения линий электропередач и мест расположения источников питания. Несмотря на большое количество работ по теме оптимизации проектных решений, задача определения влияния параметров режима системы на расчет эксплуатационных издержек остается актуальной. В Ханты-Мансийском автономном округе, где большая доля потребления электрической энергии приходится на нефте- и газодобывающие предприятия, основными потребителями являются установки электроцентробежных насосов, в большинстве случаев базирующиеся на синхронных электродвигателях. С целью повышения эффективности электрических сетей нефтегазовых предприятий требуется создание современных методик помощи при проектировании, включающих учет зависимости нагрузки от режимных параметров при расчете эксплуатационных издержек. **Цель.** Совершенствование методики определения потерь мощности при определении места расположения источника питания. **Материалы и методы.** Использовались методы математического моделирования, многокритериальной оптимизации, системы искусственного интеллекта. **Результаты и обсуждение.** Сформирована концепция системы автоматического определения места расположения источника питания, включающая усовершенствованную методику определения потерь. Для участка местности праведно моделирование электрической сети. Значения потерь мощности для полученной сети при использовании модифицированной методики на 5...17 % выше. Для проверки достоверности полученных результатов проведен расчет режима системы в программном комплексе RastrWin3. Отклонение значения потерь мощности в RastrWin3 и в представленной математической модели составило не более 5 %, что можно считать незначительным. **Заключение.** При определении места расположения источника питания следует учитывать зависимость потребительской нагрузки от режимных параметров системы.

**Ключевые слова:** электрические сети, автоматизированное проектирование, искусственный интеллект, оптимальное расположение трансформаторной подстанции

**Для цитирования:** Екимов И. С., Полищук В. И. Совершенствование методики определения потерь мощности при определении места расположения источника питания // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2025. № 6 (111). С. 20–27. <https://doi.org/10.37493/2307-907X.2025.6.2>

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию: 16.08.2025;

одобрена после рецензирования: 19.09.2025;

принята к публикации: 25.09.2025.

Research article

## ENHANCING THE METHOD TO DETERMINE POWER LOSSES WHEN SPECIFYING THE LOCATION OF THE POWER SOURCE

Ivan S. Ekimov<sup>1\*</sup>, Vladimir I. Polishchuk<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Yugra State University (16, Chehov str., Khanty-Mansiysk, 628012, Russian Federation)  
<sup>1</sup> [ekimov\\_is@mail.ru](mailto:ekimov_is@mail.ru); <https://orcid.org/0009-0003-5312-1228>  
<sup>2</sup> [polishchuk\\_vi@mail.ru](mailto:polishchuk_vi@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0001-8100-4406>  
<sup>\*</sup> Corresponding author

**Abstract. Introduction.** Currently much attention is paid to energy efficiency and economy of the electric power complex. The laws of the Russian Federation emphasize the importance of reducing the number of redundant electric power systems. Optimization is carried out in terms of capital and operating costs. Research on the development of new techniques is ongoing. The problem of determining the dependence of the consumer load on the operating parameters of the system still relevant while calculating operating costs. In the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug, a large part of electric energy consumption is accounted for oil and gas producing companies. The main consumers are installations of electric centrifugal pumps. In most cases, they are equipped with synchronous electric motors. In this regard, the creation of modern design assistance methods is required. The methods should include consideration of the dependence of the load on the operating parameters when calculating operating costs. **Goal.** The study aims to enhance methods of the calculation power losses for optimal power source placement. **Materials and methods.** The study is based on mathematical modeling, multi-criteria optimization, and artificial intelligence systems were used in the work. **Results and discussion.** The concept

of an automatic power source location detection system was formed. The concept included modified methodic of determine of the power losses. The power loss values when using a load in the form of a static characteristic are 5...17 % higher than with a constant load value. The deviation of the power loss value calculated in the RastrWin3 complex and the presented mathematical model was no more than 5 %. This can be considered insignificant. **Conclusion:** The dependence of the consumer load on the operating parameters of the system should be taken into account while determining the location of the power source.

**Keywords:** electrical main, computer-aided design, artificial intelligence, optimal location of a transformer substation

**For citation:** Ekimov IS, Polishchuk VI. Enhancing the method to determine power losses when specifying the location of the power source. Newsletter of North-Caucasus Federal University. 2025;6(111):20-27. (In Russ.). <https://doi.org/10.37493/2307-907X.2025.6.2>

**Conflict of interest:** the authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 16.08.2025;

approved after reviewing 19.09.2025;

accepted for publication 25.09.2025.

**Введение / Introduction.** В действующей энергетической стратегии Российской Федерации [1] подчеркивается необходимость создания эффективных и экономичных электроэнергетических систем. Для этого при проектировании электрических сетей необходимо решать комплексную задачу, включающую в себя определение трассы проектируемой линии электропередач (ЛЭП) и места размещения источников питания (ИП). Данная задача является многопараметрической, и её решение методом полного перебора вариантов затруднительно. В связи с этим большое распространение получили системы автоматизированного проектирования, использующие многопараметрическую оптимизацию [9], искусственный интеллект и методы поиска пути на графе [10].

В настоящее время в научной литературе имеется значительное количество исследований, направленных на определение оптимальной трассы ЛЭП [2, 3], конструктивных особенностей линий [11], а также оптимального места расположения ИП [4, 5]. Среди рассмотренных работ лишь малое количество исследователей уделяет внимание вопросу поведения нагрузки. Чаще всего потребительская нагрузка задается постоянными значениями мощности или сопротивления. Между тем большинство потребителей сейчас представлены сложной нагрузкой, включающей в себя группы различных электроприемников.

В Ханты-Мансийском автономном округе (ХМАО) более 80 % потребления электрической энергии приходится на нефте- и газодобывающие предприятий. Основными электроприемниками таких предприятий являются установки электроцентробежных насосов (УЭЦН) с электрическими двигателями. При проектировании электрических сетей нефтяных месторождений мощность потребителей чаще всего устанавливается постоянным значением. Однако значение мощности, потребляемой УЭЦН из сети, меняется в зависимости процессов происходящих в скважине, а также от параметров текущего режима энергосистемы.

Значительная часть существующих и большинство вновь сооружаемых скважин чаще оборудуются синхронными электродвигателями (СЭД). Данный тип двигателей характеризуется большим КПД в сравнении с асинхронными двигателям. При этом недостатком СЭД можно назвать способность в перевозбужденном состоянии генерировать реактивную мощность и выдавать ее в сеть.

Несмотря на большое количество работ по теме оптимизации проектных решений, остается сложность определения зависимости потребительской нагрузки от режимных параметров системы. Изменение значения потребляемой мощности может повлиять на потери мощности в линии и эксплуатационные издержки. Для принятия решения по определению оптимального места расположения ИП следует повысить точность расчета потерь мощности в линии.

Целью проведенного исследования является совершенствование методики расчета потерь мощности при определении оптимального места расположения источника питания.

**Материалы и методы исследований / Materials and methods of research.** В рамках исследования проведен анализ работ по теме создания оптимальной структуры сети при проектировании [2–10]. Наиболее перспективно для определения оптимального места расположения ИП использовать методику, предложенную в работе [5].

Для моделирования потребительской нагрузки предлагается использовать статические характеристики нагрузки по напряжению (СХН). Так как проектирование проводится для электрической сети нефтегазового предприятия, потребители представлены СЭД. Активная составляющая их нагрузки постоянна при любых значениях напряжения ( $P = \text{const}$ ), а реактивная составляющая нагрузки изменяется согласно типовой СХН (рисунок 1).

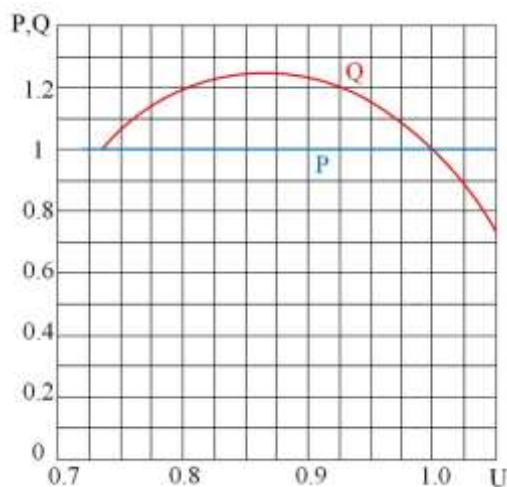


Рис. 1. Статическая характеристика нагрузки СЭД по напряжению / Fig. 1. Static load characteristics by voltage of SEM  
\*Источник: составлено авторами по данным [10] / Source: compiled by the authors according to [10]

Значение потерь мощности в линиях при формировании нагрузки постоянными значениями мощности и СХН различается [12]. Требуется количественная оценка данного различия для СЭД. Для анализа отклонения значения потерь мощности проведено моделирование участка линии электропередач в программном комплексе RastrWin 3.

Расчет потерь мощности проведен для 4 вариантов нагрузки:

- 1) нагрузка задается постоянным значением мощности без учета перевозбуждения;
- 2) нагрузка задается СХН без учета перевозбуждения;
- 3) нагрузка задается постоянным значением мощности с учетом перевозбуждения;
- 4) нагрузка задается СХН с учетом перевозбуждения.

Результаты моделирования представлены на рисунке 2. Наибольшее значение потерь мощности получено для варианта нагрузки в виде СХН с учетом работы СЭД в режиме перевозбуждения.

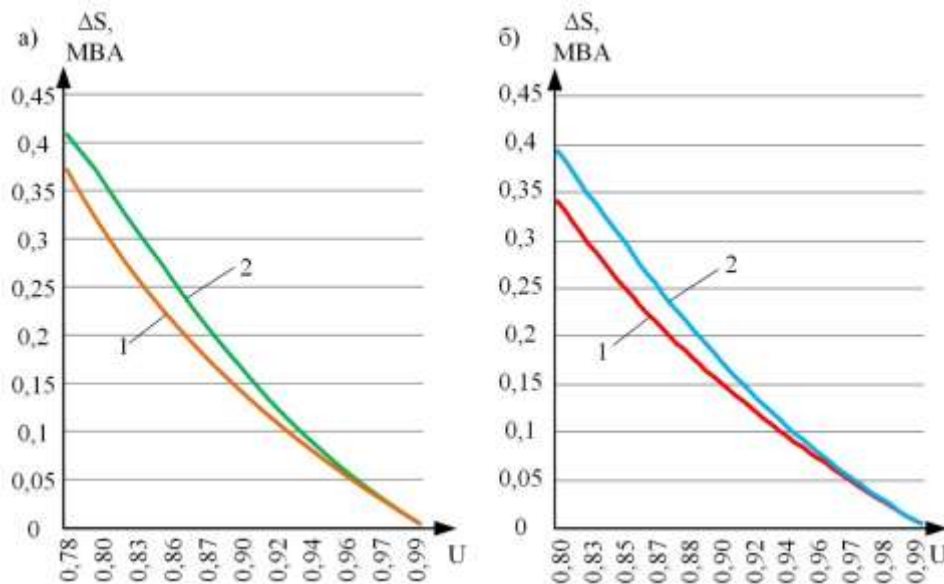


Рис. 2. График зависимости потерь активной мощности от значения напряжения:  
а – график с учетом перевозбуждения СЭД, б – график без учета перевозбуждения СЭД,  
1 – кривая зависимости при задании нагрузки в виде СХН, 2 – кривая зависимости при задании нагрузки в виде постоянного значения мощности / Fig. 2. Graph of the dependence of active power losses on the voltage value: a is a graph taking into account the overexcitation of the SEM, b is a graph without taking into account the overexcitation of the SEM, 1 is the dependence curve when setting the load in the form of a SVC, 2 is the dependence curve when setting the load in the form of a constant power value.

\*Источник: составлено авторами / \*Source: compiled by the authors

Методика определения оптимального места расположения ИП [5] может быть модифицирована путем повышения точности расчета потерь мощности. Для усовершенствования методики расчета потерь предлагается в качестве потребительской нагрузки использовать СХН. С учетом всех модификаций синтезирована концепция системы автоматизированного определения места расположения (АОМР) ИП. Алгоритм работы системы АОМР представлен на рисунке 3.

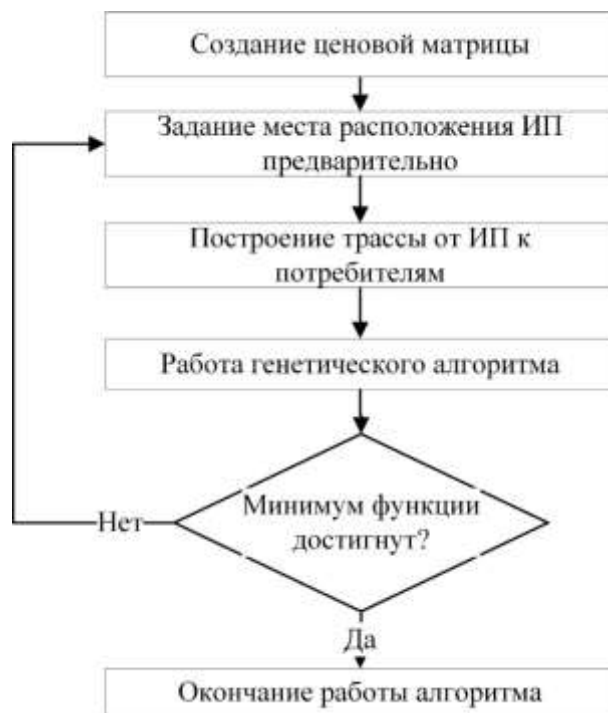


Рис. 3. Алгоритм работы системы АОМР / Fig.3. The algorithm of the system ALD

\*Источник: составлено авторами по данным [5] / Source: compiled by the authors according to [5]

Система АОМР состоит из 3 основных этапов работы:

- 1) создание ценовой матрицы (ЦМ);
- 2) построение трассы от ИП до каждого потребителя;
- 3) оптимизация места расположения ИП при помощи генетического алгоритма.

**1. Для создания ЦМ** на карту местности накладывается сетка. Размерность сетки может быть скорректирована для повышения точности расчетов. Каждой ячейке сетки присваивается значение проходимости. В зависимости от величины проходимости варьируется стоимость прокладки ЛЭП. Ограничения при построении трассы ЛЭП устанавливаются при помощи повышения значения проходимости ячейки. Так для участков местности, где строительство ЛЭП затруднено, оно будет выше. На основании полученной сетки проходимости местности синтезируется ЦМ. Данная матрица свободно преобразуется в неориентированный граф.

**2. Построение трассы** выполняется при помощи алгоритмов поиска пути на графе. Для целей поиска трассы от одного источника сразу к нескольким потребителям использован алгоритм Дейкстры. Его преимуществами являются достаточно высокая точность, а также одновременный поиск всех путей.

**3. Постановка задачи оптимизации.** Для определения оптимального места расположения по методике АОМР использованы методы многокритериальной оптимизации.

В качестве критериев оптимизации определены: минимизация капитальных затрат и минимизация потерь мощности в линии.

По обозначенным критериям составлена целевая функция:

$$f_1 \cdot k_1 + f_2 \cdot k_2 \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $f_1$  – функция, отражающая параметр капитальных затрат,  $f_2$  – функция, отражающая параметр эксплуатационных издержек,  $k_1, k_2$  – весовые коэффициенты. Рассмотрим подробнее функции  $f_1$  и  $f_2$ .

$$f_1 = \sum_{i=1}^n K_i \quad (2)$$

$$K_i = L_i \cdot F \quad (3)$$

где  $K_i$  – капитальные вложения на сооружении линии от источника питания,  $L_i$  – длина участка линии от источника питания,  $F$  – стоимость строительства линии исходя из сечения.

$$f_2 = \sum_{i=1}^n \Delta S_i \quad (4)$$

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{\sqrt{3} \cdot U_i} \quad (5)$$

$$z_i = z_0 \cdot L_i \quad (6)$$

$$\Delta S_i = 3I_i^2 z_i \quad (7)$$

где  $\Delta S_i$  – потери мощность,  $P_i, Q_i$  – мощность нагрузки активная и реактивная,  $U_i$  – напряжение в конце линии,  $z_i$  – сопротивление линии,  $I_i$  – ток в линии,  $z_0$  – удельное сопротивление линии,  $L_i$  – длина линии от источника до  $i$ -го потребителя.

При решении задачи многокритериальной оптимизации использован генетический алгоритм. Для задания хромосомы особи использован принцип, представленный в работе [8].

Таблица 1/ Table 1

Общий вид хромосомы / The general type of chromosome

Значения	0	0	1	0	...	0	0
Места размещения ТП	$(x_1, y_1)$	$(x_2, y_2)$	$(x_3, y_3)$	$(x_4, y_4)$	...	$(x_{n-1}, y_{n-1})$	$(x_n, y_n)$

\*Источник: составлено авторами по данным [8] / Source: compiled by the authors according to [8].

**Исходные данные для моделирования.** По предложенной системе АОМР на программном комплексе MathLab синтезирована математическая модель, позволяющая определить оптимальное место размещения ИП. Для моделирования сформирован участок местности с различной проходимостью (3 ценовые зоны) и стоимостью строительства ЛЭП.

На заданном участке местности отражены координаты размещения 7 потребителей. Для каждой из 7 координатных точек также заданы технические параметры электроприемников:

- установленная мощность;
- СХН по напряжению;

Для ограничения числа возможных вариантов электрической сети задана зона размещения ИП. Исходные данные для моделирования отражены на рисунке 4.

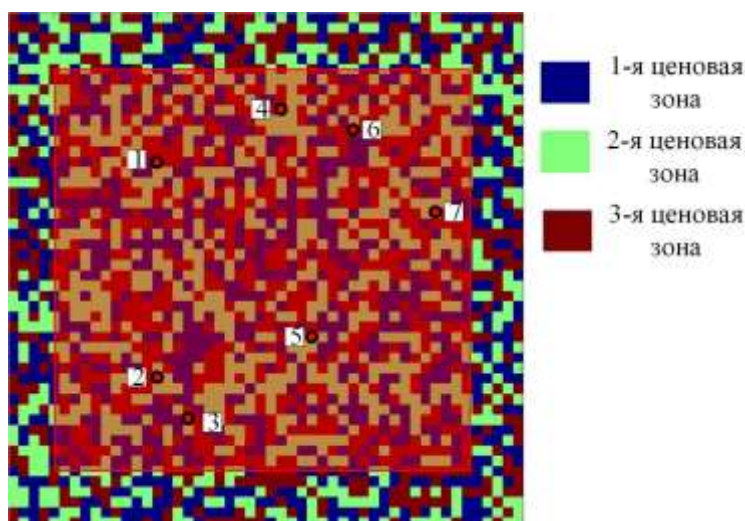


Рис. 4. Исходные данные для моделирования / Fig. 4. Initial data for modeling

\*Источник: составлено авторами / \*Source: compiled by the authors

**Результаты исследований и их обсуждение / Research results and their discussion.** По исходным данным на математической модели определено оптимальное место расположения ИП, а также потери мощности в линии. Моделирование проводилось для двух случаев:

- 1) потребительская нагрузка установлена в виде постоянного значения мощности;
- 2) потребительская нагрузка установлена в виде СХН.

В результате моделирования получено отклонение значения потерь мощности в двух экспериментах. Для случая потребительской нагрузки, установленной в виде СХН, потери на 5...17 % больше, чем для нагрузки в виде постоянного значения мощности. Отклонение значения потерь изменялось в зависимости от протяженности линии и потерь напряжения в ней. Схема электрической сети, полученной при моделировании, представлена на рисунке 5.

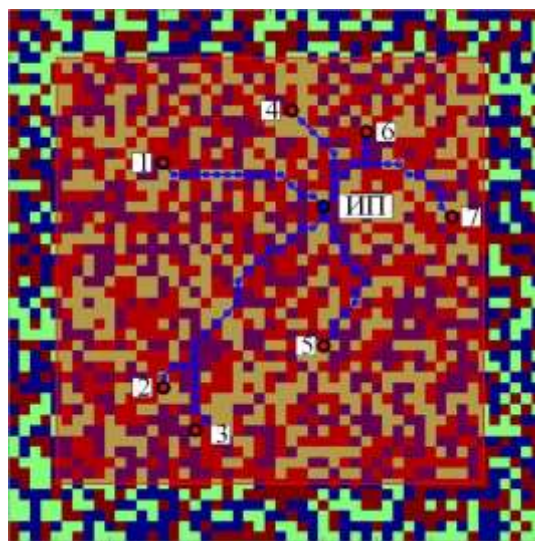


Рис. 5 Результаты поиска оптимального размещения ИП / Fig. 5 Search results for optimal power source

\*Источник: составлено авторами / \*Source: compiled by the authors

Для проверки достоверности полученных при моделировании значений потерь мощности проведен расчет режима работы сети на программном комплексе RstrWin3. Отклонение потерь мощности в сравнении с представленной моделью составило менее 5 %. Значения потерь сведены в таблицу 2.

Таблица 2 / Table 2

**Сравнение значений потерь мощности в линии /  
Comparison of power loss values in electrical main**

Линия	MathLab, MBA	RastrWin 3, MBA
ИП – 1	0,270	0,275
ИП – 2	0,237	0,244
ИП – 3	0,114	0,118
ИП – 4	0,048	0,049
ИП – 5	0,107	0,111
ИП – 6	0,140	0,146
ИП – 7	0,195	0,201

\*Источник: составлено авторами / \*Source: compiled by the authors

**Заключение / Conclusion.** В исследовании предложена модернизация методики расчёта потерь мощности при определении оптимального размещения ИП. Для этого использована потребительская нагрузка в виде СХН по напряжению. Модифицированная методика позволяет более точно рассчитывать потери мощности. В программном комплексе MathLab синтезирована математическая модель по предложенной концепции системы автоматизированного определения места расположения источника питания (АОМР) и расчета потерь мощности. Для участка местности проведено моделирование электрической сети. Значения потерь мощности для полученной сети при использовании модифицированной методики на 5...17 % выше. Для проверки достоверности полученных результатов прове-



ден расчет режима системы в программном комплексе RastrWin3. Отклонение значения потерь мощности в RastrWin3 и представленной математической модели составило не более 5 %, что можно считать незначительным. Предложенная методика позволяет повысить точность определения потерь мощности в задачах по определению оптимального места расположения ИП.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года, утв. Распоряжением Правительства Российской Федерации от 09.06.2020 № 1523-р. URL: <http://static.government.ru/media/files/w4sigFOiDjGVDYT4IgsApssm6mZRb7wx.pdf> (дата обращения: 15.04.2025).
2. Пинзон С., Янез С., Руис М. Оптимальное расположение трансформаторов в электрических распределительных сетях с использованием географических информационных систем // Enforque UTE. 2020. № 1(11). С. 84–95. <https://doi.org/10.29019/enfoque.v11n1.593>.
3. Ткаченко В. А. Разработка метода определения структуры мини-сети с учетом оптимальных маршрутов линий электропередачи на территории с резко неоднородным ландшафтом // Омский научный вестник. 2023. № 4(188). С. 109–116. <https://doi.org/10.25206/1813-8225-2023-188-109-116>.
4. Косяков С. В., Гадалов А. Б. Проектирование размещения электрических подстанций с использованием средств трассировки в ГИС // Вестник ИГЭУ. 2019. № 4(104). С. 75–83. <https://doi.org/10.17588/2072-2672.2019.4.075-083>.
5. Козлов Е. Г., Косяков С. В. Оптимизация размещения трансформаторных подстанций в городских микрорайонах с использованием генетического алгоритма и алгоритмов трассировки ЛЭП на карте // Вестник ИГЭУ. 2023. № 2(12). С. 69–75. <https://doi.org/10.17588/2072-2672.2023.2.069-075>.
6. Свеженцева О. В., Воропай Н. И. Оптимизация размещения источников питания при формировании рациональной конфигурации системы электроснабжения // Электричество. 2012. № 10. С. 7–14.
7. Беляев Н. А., Коровкин Н. В., Чудный В. С., Многокритериальная оптимизация при планировании развития энергосистем // Известия РАН. Энергетика. 2021. № 2. С. 3–11. <https://doi.org/10.31857/S0002331021020047>.
8. Сантос А. Х. М. [и др.] Оптимизация маршрутизации и определения местоположения опор линий электропередачи: интеграция географических данных и инженерных аспектов в процесс принятия решений // Electric Power Systems Research. 2019. № 176. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2019.105953>.
9. Третьяков Е. А., Малышева Н. Н. Реконфигурация распределительных электрических сетей // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2021. № 1(21). С. 38–47. <https://doi.org/10.14529/power210104>.
10. Крысанов В. Н., Бурковский В. Л., Данилов А. Д. Снижение потерь активной мощности на узловых подстанциях 110/220 кВ с помощью нечеткого регулятора // Проблемы региональной энергетики. 2019. № 1(39). С. 57–69. <https://doi.org/10.5281/zenodo.2650421>.
11. Картавцев В. В., Афоничев Д. Н., Помогаев Ю. М. Оптимизация структуры и параметров электрических сетей // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2018. № 3(58). С. 113–119. <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2018.3.113>.
12. Учет статических характеристик нагрузки при расчетах режима энергосистемы / В. Г. Гольдштейн, Д. Н. Дадон, Е. А. Кротков, М. М. Птичкин // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2011. № 3. С. 35–37.

## REFERENCES

1. Energy Strategy of the Russian Federation for the period up to 2035, approved by By Decree of the Government of the Russian Federation dated 06/09/2020 No. 1523-R. Available from: <http://static.government.ru/media/files/w4sigFOiDjGVDYT4IgsApssm6mZRb7wx.pdf> [Accessed 15 April 2025] (In Russ.).
2. Pinzon S, Yanez S, Ruiz M. Optimal location of transformers in electrical distribution networks using geographic information systems // Enforque UTE. 2020;1(11):84-95. (In Russ.). <https://doi.org/10.29019/enfoque.v11n1.593>.
3. Tkachenko VA. Development of a method for determining the structure of a mini-network, taking into account the optimal routes of power transmission lines in a territory with a sharply heterogeneous landscape. Omsk Scientific Bulletin. 2023;4(188):109-116. (In Russ.). <https://doi.org/10.25206/1813-8225-2023-188-109-116>.
4. Kosyakov SV, Gadalov AB. Designing the placement of electrical substations using tracing tools in GIS. Vestnik of IGEU. 2019;4(104):75-83. (In Russ.). <https://doi.org/10.17588/2072-2672.2019.4.075-083>.
5. Kozlov EG, Kosyakov SV. Optimization of the placement of transformer substations in urban neighborhoods using a genetic algorithm and algorithms for tracing power lines on a map // Vestnik of IGEU. 2023;2(12):69-75. (In Russ.). <https://doi.org/10.17588/2072-2672.2023.2.069-075>.
6. Svezhentseva OV, Voropai NI. Optimization of the placement of sources power supply during the formation of a rational configuration of the power supply system // Electricity. 2012;(10):7-14. (In Russ.).
7. Belyaev NA, Korovkin NV, Chudny VS. Multicriteria optimization in planning the development of energy systems. News of the Russian Academy of Sciences. Energy. 2021;(2):3-11. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0002331021020047>.

8. Santos AH. M. [et al.] Optimization of routing and location determination of transmission line poles: integration of geographical data and engineering aspects into the decision-making process. Electric Power Systems Research. 2019;(176). (In Russ.). <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2019.105953>.
9. Tretyakov EA, Malysheva NN. Reconfiguration of electrical distribution networks. Bulletin of the South Ural State University. Series: Energy. 2021;1(21):38-47. (In Russ.). <https://doi.org/10.14529/power210104>
10. Krysanov VN, Burkovsky VL, Danilov AD. Reduction of active power losses at 110/220 kV node substations using a fuzzy regulator. Problems of regional energy. 2019;1(39):57-69. (In Russ.). <https://doi.org/10.5281/zenodo.2650421>.
11. Kartavtsev VV, Afonichev DN, Pomogaev YuM. Optimization of the structure and parameters of electrical networks. Bulletin of the Voronezh State Agrarian University. 2018;3(58):113-119. (In Russ.). <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2018.3.113>
12. Accounting for static load characteristics in calculating the power system regime / Goldstein VG, Dadonov DN, Krotkov EA, Ptichkin MM. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Electromechanics. 2011;(3):35-37(In Russ.).

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Иван Сергеевич Екимов** – аспирант инженерной школы цифровых технологий Югорского государственного университета, Researcher ID: MXL-5790-2025

**Владимир Иосифович Полищук** – доктор технических наук, профессор политехнической школы Югорского государственного университета, ResearcherID: N-7669-2016, Scopus ID: 16478590800

### ВКЛАД АВТОРОВ

**Иван Сергеевич Екимов**

Проведение исследования – сбор, интерпретация и анализ полученных данных. Подготовка текста – составление черновика рукописи и формирование его окончательного варианта, участие в научном дизайне.

**Владимир Иосифович Полищук**

Редактирование текста и утверждение окончательного варианта – принятие ответственности за все аспекты работы, целостность всех частей статьи и ее окончательный вариант.

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Ivan S. Ekimov** – postgraduate student, Engineering School of Digital Technologies, Yugorsk State University, ResearcherID: MXL-5790-2025

**Vladimir I. Polishchuk** – Dr. Sci. (Techn.), Professor at the Polytechnic School, Ugra State University, Scopus ID: 16478590800

### CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

**Ivan S. Ekimov**

Conducting a study – the collection, interpretation and analysis of the data obtained. Text preparation – drafting of a manuscript and the formation of its final version, participation in scientific design.

**Vladimir I. Polishchuk**

Editing the text and approving the final version, taking responsibility for all aspects of the work, the integrity of all parts of the article and its final version.